

2017

X Reunión Española de Optoelectrónica



Santiago de Compostela

12-14 Julio de 2017

EDITADO POR:

Justo Arines Piferrer

Manuel Blanco Fraga

María Teresa Flores Arias

María del Carmen Bao-Varela

María de la Inmaculada Aymerich López

Publicado por:

Asociación Científica de Óptica y Fotónica de Santiago

ISBN: 978-84-16989-81-2

ISBN 978-84-16989-81-2



Conversor en longitud de onda utilizando un láser en anillo de fibra óptica altamente dopada con erbio

Wavelength converter using a highly erbium doped optical fiber ring laser

Rosa Ana PEREZ-HERRERA⁽¹⁾, Manuel LOPEZ-AMO⁽¹⁾, Daniel VENTURA⁽¹⁾, Luis RODRIGUEZ⁽²⁾, Jose Miguel LÓPEZ-HIGUERA⁽²⁾

1. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadía S/N, Pamplona 31006, España.
2. Grupo de Ingeniería Fotónica, Edificio I+D de Telecomunicación, Universidad de Cantabria, Santander, España.

Persona de contacto: Rosa Ana Pérez (rosa.perez@unavarra.es).

RESUMEN: En este trabajo se presenta un conversor de longitud de onda ultra-estrecho, de alta eficiencia y todo-fibra basado en el efecto de la competición de modos en un láser de fibra dopada con erbio. Se han llevado a cabo estudios experimentales con frecuencias que van desde varios kilohercios hasta las decenas de gigahercios y para más de una longitud de onda de emisión, demostrando así que este efecto puede ser utilizado para la conversión en longitud de onda de múltiples longitudes de emisión simultáneamente.

Palabras clave: Comunicaciones por fibra óptica, modulación en intensidad, multiplexación, conversor en longitud de onda, sensores de fibra óptica.

ABSTRACT: This work presents an all-fiber wavelength converter based on a highly Er-doped fiber laser which has been experimentally demonstrated. Frequencies from several kilohertz up to tens of gigahertz have been investigated. Making use of the gain competition in the amplifying medium, the wavelength conversion can be carried out over not only one lasing wavelength but over several ones. These analyses have been also carried out for more than one all-fiber ring structure, demonstrating the viability of this wavelength converter.

Key words: Fiber optics communications, intensity modulation, multiplexing, wavelength converter, fiber optic sensors.

1.- Introducción

El conversor en longitud de onda (CLO) es uno de los componentes clave en la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en las redes ópticas y los bloques de conmutación de redes [1]. Esta técnica resulta muy importante para el uso eficiente de las longitudes de onda en las redes ópticas basadas en WDM y existen diversos métodos para alcanzar dicha conversión en longitud de onda. Por ejemplo, usando conversión optoelectrónica (O/E/O), puertas ópticas o mezclado de cuatro ondas (FWM) [2]. Existen gran variedad de conversores en longitud de

onda basados en FWM utilizados en la actualidad; sin embargo presentan una serie de inconvenientes como la diafonía producida por las señales satelitales, la necesidad de fibras altamente no lineales (HNLF) o su nivel de complejidad [3].

En este trabajo se muestra una nueva técnica basada en una estructura láser monomodo [4] y de emisión multilínea. En esta estructura se ha utilizado el efecto de la competición de ganancia, en principio no deseado, para transferir la información de una longitud de onda de entrada a otra generada por la estructura láser. Por lo que, por primera vez, se ha desarrollado

y probado un CLO basado en un láser en anillo con fibra altamente dopada con erbio. En este trabajo se han investigado frecuencias que van desde los cientos de kilohercios hasta las decenas de gigahercios. Se han llevado a cabo análisis para más de una longitud de onda no modulada demostrando así la viabilidad de esta tecnología.

2.- Esquema experimental

2.1.- Bajas frecuencias, de 2 KHz a 500 KHz

El esquema experimental del láser de fibra en anillo con fibra dopada con erbio (EDFRL) para su uso como CLO se muestra en la figura 1. Este láser está compuesto por un anillo de fibra estándar monomodo (SMF) que incluye un tramo de 4 m de fibra altamente dopada con erbio (M-12, con una absorción de 16-20 dB/m a 1531nm, de la empresa Fibercore) que actúa como medio activo y sirve para obtener amplificación óptica. El tramo de la fibra utilizada en este experimento fue más corto que en casos anteriores [5]. Además, para formar el anillo resonador, se utilizaron un multiplexor en longitud de onda (WDM) y una fuente de bombeo a 980nm. Para asegurar una oscilación unidireccional en la cavidad en anillo y evitar así la aparición del efecto *hole burning* se incluyó además un aislador óptico.

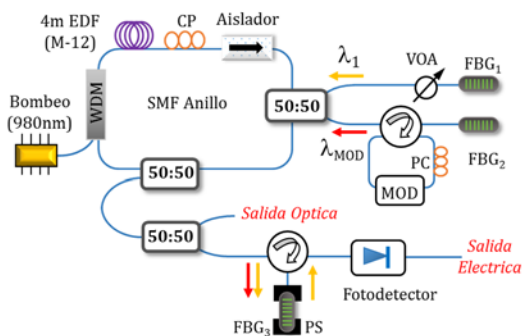


Fig. 1. Esquemático del CLO-EDFRL.

La selección de longitud de onda se llevó a cabo mediante el uso de varias redes de difracción de Bragg (FBGs) junto con acopladores ópticos de 3dB para incorporar estas redes dentro de la cavidad láser. Entre el acoplador y uno de los FBGs se colocó un circulador óptico de cuatro puertos para poder así incluir un controlador de polarización (CP) y un modulador de amplitud (MOD). Este modulador se conectó a un generador de señal para barrer y

analizar diferentes rangos de frecuencias. Finalmente se empleó un acoplador óptico de 3dB para extraer parte de la potencia óptica de salida del láser y evaluar dicho valor mediante el uso de diferentes dispositivos, dependiendo del rango seleccionado de frecuencias. Para la demostración experimental de este sistema, la señal reflejada de uno de los FBGs se moduló externamente a diferentes frecuencias para analizar su efecto sobre las otras longitudes de onda de emisión.

En este experimento los FBGs utilizados estaban centrados en 1550nm y 1554nm para FBG₁ y FBG₂ respectivamente. El último FBG, centrado alrededor de los 1553.9nm (FBG₃), se pegó a dos placas inductoras de estrés (SP) y se estiró mediante un motor (Newport MM4005), consiguiendo así un control muy preciso de la longitud de onda de Bragg manteniendo su emisión en 1554nm (la misma que FBG₁) y eliminando de este modo la longitud de onda modulada externamente, centrada en 1550nm. El micro-desplazamiento aplicado mediante el SP podría controlarse con un motor de mayor precisión para así modificar la longitud de onda de emisión y utilizarse en combinación con otros FBGs. En este primer caso, la amplitud de la modulación varió desde varios kilohercios a unos 500KHz.

De ahora en adelante, las longitudes de onda modulada y no modulada serán referidas como λ_{MOD} y λ_{NOMOD} respectivamente.

La señal de salida se monitorizó mediante un analizador de espectros ópticos (OSA) para controlar los niveles de potencia de salida generada por las longitudes de onda y ecualizar ambas señales mediante un atenuador óptico variable (VAO) en caso de ser necesario.

Simultáneamente, y después de filtrar la señal proveniente de λ_{MOD} , la longitud de onda no modulada (λ_{NOMOD}) se monitorizó mediante un analizador de espectros eléctricos (ESA), con una resolución de hasta 1Hz, junto con un fotodetector.

2.2.- Altas frecuencias, de 4 hasta 20 GHz

Tras demostrar la viabilidad de este experimento para un rango de altas frecuencias, se cambió el modulador externo de intensidad por otro capaz de modular señales a frecuencias mayores. En esta sección se han analizado

frecuencias desde los 4 hasta los 20 GHz. Además, para demostrar experimentalmente la CLO en más de una longitud de onda de emisión se añadió a esta cavidad en anillo una nueva longitud de onda de emisión no modulada y centrada en 1548.5nm.

3.- Resultados

La figura 2 muestra el espectro óptico del montaje experimental cuando se aplica una potencia de bombeo de unos 110mW y una modulación en intensidad de 2KHz.

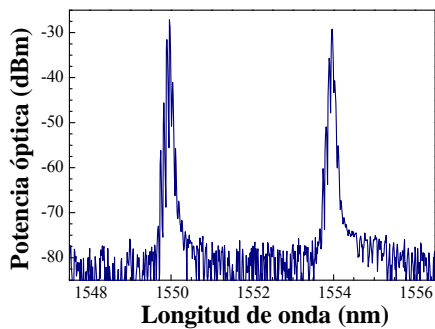


Fig. 2. Espectro óptico del EDFRL con una modulación de 2KHz aplicada a $\lambda=1554\text{nm}$.

Dado que el objetivo de este trabajo fue demostrar experimentalmente la conversión en longitud de onda basada en la competición de ganancia entre las longitudes de onda de emisión, estos láseres no se ecualizaron, deliberadamente, con el objetivo de incrementar dicho efecto. Como puede verse en la figura, aparece un rizado superpuesto sobre ambos láseres incluso cuando únicamente uno de ellos está siendo modulado externamente.

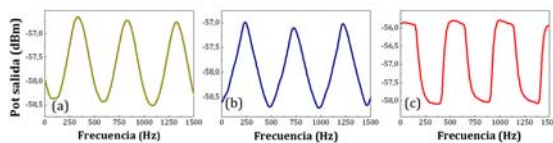


Fig. 3. Modulaciones medidas en λ_{NOMOD} .

La figura 3 muestra las variaciones de potencia óptica de salida medidas con un OSA y centrado en λ_{NOMOD} con un rango de medida de 0nm cuando una modulación sinusoidal (Fig. 3.a), triangular (Fig. 3.b) o cuadrada (Fig. 3.c) de 500Hz se aplica en λ_{MOD} . Como se puede observar en estas tres figuras, la amplitud de modulación aplicada en λ_{MOD} se observa también en λ_{NOMOD} .

El siguiente paso consistió en incrementar la frecuencia de modulación. Para ello se sustituyó el modulador anterior por otro con un rango de operación que iba desde los 4 GHz hasta los 12GHz. En este caso, los FBGs utilizados para las señales modulada y no modulada fueron de 1552.2nm y 1550.4nm respectivamente. La figura 4 muestra el espectro óptico medido mediante el BOSA (analizador de espectros ópticos de alta resolución) cuando se aplica una modulación de 5GHz a la longitud de emisión centrada en 1552.2nm (λ_{MOD}). Ambas señales, λ_{MOD} y λ_{NOMOD} , presentaban solo una de sus bandas laterales. Como se puede ver en esta figura, ambos láseres presentan exactamente la misma distancia desde su longitud de onda central de emisión hasta una de sus bandas laterales, 40.1pm, que corresponde con una frecuencia de modulación de 5GHz.

Variando la posición del CP estas bandas laterales pueden aparecer o no, debido a la gran dependencia existente entre la modulación y la polarización. En este caso, el CP se posicionó de tal forma que apareciese una única banda lateral para así simplificar las medidas experimentales. Estas variaciones en la posición del CP pueden utilizarse para obtener una mayor eficiencia de conversión del conversor. Seleccionando una posición del CP donde una única banda lateral fuese tan alta como fuera posible y haciendo desaparecer la longitud de onda de emisión central, la eficiencia de conversión sería máxima.

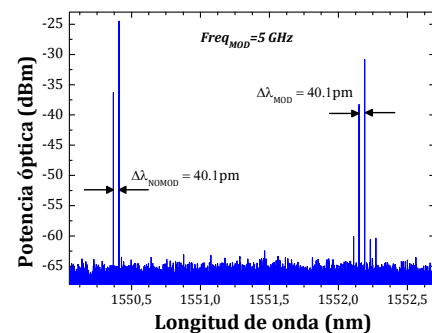


Fig. 4. Espectro óptico al aplicar una modulación de 5GHz en $\lambda=1552.2\text{nm}$.

En este caso, la eficiencia de conversión rondó los -10dB, sin embargo este valor podría incrementarse variando la posición del

CP. Ambos láseres presentan un comportamiento monomodo, es decir, tanto la emisión de la longitud de onda central como sus bandas laterales presentan un único modo longitudinal (SLM).

Para demostrar la viabilidad de este método para la conversión de múltiples longitudes de onda de emisión no moduladas simultáneamente se añadió un nuevo FBG, centrado en 1548.5nm mediante un acoplador de 3dB. Como se observa en la figura 5, las dos longitudes de onda de emisión no moduladas, centradas en 1548.5nm y 1550.4nm presentan la misma distancia desde su longitud de onda central de emisión a cada una de sus bandas laterales, que corresponde a la frecuencia de modulación de 5GHz aplicada en el láser centrado en 1552.2nm.

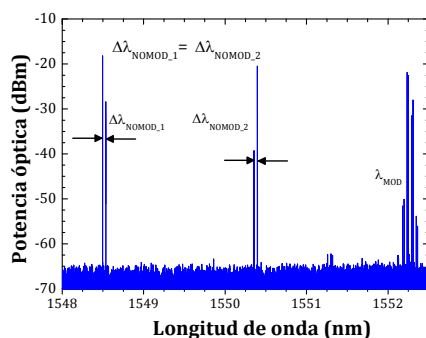


Fig. 5. Espectro de salida con CLO en dos longitudes de onda no moduladas externamente.

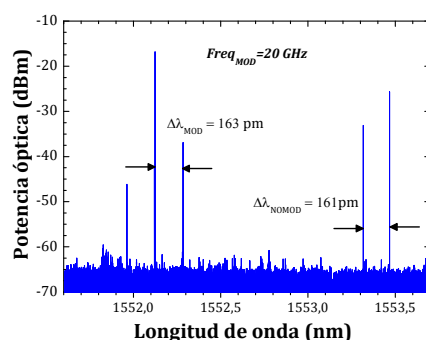


Fig. 6. Espectro de salida con CLO y una frecuencia de 20GHz.

De nuevo se repitió este estudio para mayores frecuencias, en este caso desde 16 hasta 20 GHz. En este caso la longitud de onda no modulada estuvo centrada en 1553.5nm y, como muestra la figura 6, ambos láseres presentan la misma distancia desde su longitud de onda central de emisión hasta sus bandas laterales, unos 0.16nm, valor que se corresponde con

una frecuencia de modulación de 20 GHz.

4.- Conclusión

En este trabajo se ha detallado y demostrado experimentalmente un conversor de longitud de onda ultra-estrecho, de alta eficiencia y todo-fibra basado en el efecto de la competición de modos en un láser de fibra dopada con erbio. Se han llevado a cabo estudios experimentales con frecuencias que va desde varios kilohercios hasta las decenas de gigahercios y para más de una longitud de onda de emisión, demostrando así que este efecto puede ser utilizado para la conversión en longitud de onda de múltiples longitudes de emisión simultáneamente. Hasta donde los autores conocen, esta es la primera vez que se presenta y se demuestra experimentalmente un conversor en longitud de onda basado en un láser de fibra óptica en anillo con fibra altamente dopada con erbio.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología dentro de los proyectos TEC2013-47264-C2 y TEC2016-76021-C2.

Referencias

- [1] C. KACHRIS, I. TOMKOS, "A survey on optical interconnects for data center," IEEE Comm. Surveys and Tutorials, vol. 14, no. 4, pp. 1021–1036, 2012.
- [2] M. BADAR, H. KOBAYASI, K. IWASHITA "Demonstration of format free wavelength conversion for optical network," Opt. Quant Electr, vol.48, no.1, pp.1-9, 2016
- [3] O.M. Kharraz, et al., "Performance enhancement of pre-spectrum slicing technique for wavelength conversion," Opt. Comm., vol. 350, no. 1, pp. 154-159, 2015
- [4] M.A. Quintela, R.A. Perez-Herrera, et al., "Stabilization of dual-wavelength erbium doped ring fiber lasers by single-mode operation," IEEE Photonics Techn. Lett., vol. 22, no. 6, pp. 368-370, 2010
- [5] L Talaverano, et al., "Multiwavelength fiber laser sources with Bragg-grating sensor multiplexing capability," IEEE J. Lightwave Techn., vol.19, no. 4, pp. 553-558, 2001